

## **Обогащение урана / Михаил Горбачев и американский народ**

Энергетика и Безопасность № 31

- 
- [Обогащение урана: факты к содержательной дискуссии о ядерном распространении и атомной энергии](#)  
Арджун Макхиджани, Луис Шалмерс и Брайс Смит
  - [Михаил Горбачев и американский народ: неотпразднованные победы в борьбе за ликвидацию ядерного оружия](#)  
Арджун Макхиджани
  - **Наука Для Критических Масс**
    - [Обогащение Урана в Мире](#)
  - ["Атомные" загадки](#)

## Обогащение урана:

### *факты к содержательной дискуссии о ядерном распространении и атомной энергии*

Арджун Макхиджани, Луис Шалмерс и Брайс Смит

---

**От редактора:** Сообщения в новостях о ядерной деятельности Ирана вновь свидетельствуют об актуальности темы обогащения урана. Этот выпуск журнала SDA призван подкрепить аргументированную дискуссию информацией и анализом о состоянии и процессе обогащения урана.

В статье описаны процесс и технологии обогащения урана, а также приведена небольшая историческая справка. В [таблице](#) кратко представлена информация о рабочем состоянии урановых обогатительных производств в различных странах мира. Проверить свои знания в области обогащения урана можно, ответив на [вопросы по атомной энергетике](#).

Статья, таблица и тест основаны на отчете [Обогащение урана: только факты к содержательной дискуссии о ядерном распространении и атомной энергии](#), опубликованном в октябре 2004 года IEEER для Института исследований ядерной политики (Nuclear Policy Research Institute). Ссылки представлены в отчете.

Знания и возможности в области обогащения урана получили довольно широкое распространение и в атомной энергетике, и в создании ядерного оружия. Во многом этот процесс уже вышел из-под контроля. И это вызывает особое беспокойство в свете возникающих предложений, которые в ближайшие десятилетия вполне могут стимулировать более широкое применение атомной энергии в мире.

Например, для того, чтобы обеспечить топливом тысячу АЭС мощностью 1000 мВт (распространенный пример во многих программах ядерного развития), потребуется глобальная мощность обогащения урана, которая примерно в 9-10 раз превышает производства, действующие сегодня в США. Если хотя бы один процент такой мощности был бы задействован для получения высокообогащенного урана (ВОУ), то ежегодно производились бы такие объемы ВОУ, которые позволили бы создать от 175 до 310 единиц ядерного оружия. С учетом расширенной торговли специализированными материалами, необходимыми для возведения и эксплуатации газогенераторных центрифужных и прочих обогатительных установок, которые способны привести к увеличению производства атомной энергии, определить законность торговли и распространения якобы "мирных" технологий станет еще труднее.

Очень важно обращать внимание на государства, такие как Иран, которые в настоящее

время добились успехов в своих попытках обеспечить поддержку программе создания ядерного оружия. Однако не менее важно помнить о том, насколько широко распространена технология обогащения урана и насколько может вырасти угроза, если допустить применение данных технологий в любой точке мира в стремлении расширить рамки использования атомной энергии. Другими словами, мы правильно поступаем, не игнорируя страны, которые имеют современные программы по ядерному оружию и атомной энергии, а учитывая их внушительный потенциал для распространения и менее впечатляющую репутацию в этой сфере<sup>1</sup>. У всех пяти ядерных держав-участниц Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО) - США, России, Великобритании, Франции и Китая - есть заводы по обогащению урана, которые когда-то использовались для производства оружейного ВОУ. Все пять государств также обладают полномасштабными обогатительными производствами, которые участвовали в производстве низкообогащенного урана (НОУ), применяемого в качестве топлива для промышленных ядерных реакторов.

Помимо пяти известных государств, обладающих ядерным оружием, еще только у трех стран есть урановые обогатительные предприятия, которые использовались в производстве большого количества топлива для промышленных ядерных реакторов. Однако существует ряд других стран, которые занимались технологиями обогащения, и некоторые из них замечены или подозреваются в использовании обогатительного потенциала в военных целях. В [таблице](#) кратко представлена доступная на сегодняшний день информация о рабочем состоянии урановых обогатительных производств в различных странах мира.

В Пакистане, одном из тех государств, которые создали ядерное оружие, не будучи участниками ДНЯО, есть комбинаты, где обогатили ВОУ в военных целях. Как известно, Южная Африка также произвела ядерное оружие с помощью обогащенного урана, полученного на собственных производствах. С другой стороны, Индия и Израиль создали атомные бомбы из плутония-239 (который производится в ядерных реакторах, когда нерасщепляющийся уран-238 поглощает нейтрон с малой энергией). Северная Корея, которая в январе 2003 года вышла из ДНЯО, не уведомив об этом, как положено, за три месяца, дает повод для серьезных подозрений в производстве небольшого количества ядерного оружия с применением плутония. Вопрос о возможном продолжении программы по обогащению урана в Северной Корее также остается открытым.

## **Уран**

Только один элемент, который встречается в природе, является сырьем для создания атомных бомб. Это уран, химический знак "U"<sup>2</sup>. Отличительным свойством урана, которое необходимо для производства ядерного оружия и атомной энергии, является его способность к расщеплению или делению на две более легкие фракции с помощью облучения нейтронами и к высвобождению энергии в этом процессе.

Природный уран (то есть тот, который добывается из недр земли) встречается в виде сочетания трех различных изотопов, то есть атомов с тремя различными атомными массами, обладающими фактически одинаковыми химическими, однако различными

ядерными свойствами. Этими изотопами являются уран-234, уран-235 и уран-238. Уран-234 - это высокорadioактивный микроэлемент, обнаруженный в природном уране. Уран-235 - это единственное расщепляющееся вещество, встречающееся в природе в значительном количестве. Уран-238 - этот изотоп превалирует в природном уране (99,284 % массы выборки природного урана составляет уран-238), но он не поддается расщеплению. Однако уран-238 можно разделить с помощью нейтронов с высокой энергией, высвобождая большие объемы энергии, и поэтому его нередко используют для увеличения взрывной силы термоядерных или водородных бомб.

Некоторые свойства этих трех изотопов, обнаруженных в природном уране, кратко представлены в Таблице 1. Поскольку уран-234 составляет очень маленькую долю в общей массе природного урана и не используется в каких-либо серьезных программах, в данной статье мы подробно остановимся только на двух других изотопах - уран-235 и уран-238.

**Таблица 1: Краткая информация об изотопах урана**

<b>Изотоп</b>	<b>Содержание в природном уране (в %)</b>	<b>Процент радиоактивности в природном уране</b>	<b>Период полураспада</b>
Уран-238 (U-238)	99,284	47,9	4,46 миллиарда лет
Уран-235 (U-235)	0,711	2,3	704 миллиона лет
Уран-234 (U-234)	0,0055	49,8	245 000 лет

Благодаря небольшому количеству U-235, природный уран в определенных условиях может поддерживать цепную реакцию, и таким образом является топливом для определенных типов реакторов (графитовые ядерные и тяжеловодные ядерные реакторы<sup>3</sup> - последние продает Канада в промышленном масштабе). В самом распространенном на сегодняшний день типе реактора (легководный ядерный), в котором обыкновенная вода служит охлаждающим и замедляющим средством, для поддержания реакции доля U-235 в топливе должна превышать 0,7% - уровень его содержания в природном уране.

Комплекс производственных процессов, производимых для повышения процента U-235 в установленном количестве урана называется "обогащением урана". Здесь термин "обогащение" означает повышение процента расщепляющегося изотопа U-235. В легководных ядерных реакторах обычно используют от 3 до 5 процентов обогащенного урана, то есть доля U-235 в топливе составляет от 3 до 5%, а остальная часть фактически состоит из U-238. Вещество с таким уровнем содержания U-235 называется

"низкообогащенным ураном" или НОУ.

Атомные бомбы невозможно создать из природного или низкообогащенного урана. Доля U-235 слишком мала и не обеспечивает нарастающую "сверхкритическую" цепную реакцию за довольно короткое время, чтобы произвести взрыв. Для создания атомной бомбы содержание U-235 в уране должно быть как минимум около 20%. Однако бомба из урана, обогащенного в такой минимальной степени, была бы слишком объемна для доставки, поскольку потребовалось бы огромное количество урана и еще больше обычных взрывчатых веществ для его сжатия в сверхкритическую массу.

На практике уран, в котором содержится не менее 90% U-235, уже использовался для создания ядерного оружия. Вещество с таким уровнем обогащения называется высокообогащенным ураном или ВОУ. Атомная бомба, уничтожившая Хиросиму 6 августа 1945 года, была создана примерно из 60 килограмм ВОУ. Высокообогащенный уран также применяется в исследовательских и морских ядерных реакторах - на авианосцах и подводных лодках. ВОУ, предназначенный для исследовательских ядерных реакторов, может особенно заинтересовать тех, кто хотел бы совершить диверсию с использованием ядерного оружия, поскольку охраняется, как правило, хуже и зачастую находится в городах или на территории университетов. В отличие от облученного ядерного топлива для реактора, необлученный ВОУ не несет радиоактивной опасности..

Такой же процесс и производство можно использовать, обогащая уран для топлива в промышленных легководных реакторах, то есть для создания НОУ, а также получения ВОУ для атомных бомб. Таким образом, все технологии обогащения урана являются потенциальными источниками распространения ядерного оружия. Кроме того, некоторые другие способы обогащения урана выявить намного труднее, и это прибавляет дополнительные опасения, связанные с возможным существованием нелегальных программ.

## **Обогащение урана**

Поскольку все изотопы урана обладают фактически одинаковыми химическими свойствами, повышение доли урана-235 в выборке зависит от разницы атомных масс изотопов (которым присвоены следующие номера: 234, 235 и 238). U-238 тяжелее U-235 чуть более одного процента. Если уран обратить в газообразное состояние, тогда молекулы, содержащие более легкий U-235, в среднем будут двигаться с большей скоростью (при заданной температуре) по сравнению с более тяжелыми молекулами, содержащими U-238.

В ходе обычного процесса обогащения, поток преобразованного в газ природного урана, содержащего U-235 и U-238, делится на два потока благодаря небольшой разнице в массах этих двух изотопов. Один поток становится богаче ураном-235 ("обогащенный" поток урана), при этом другой становится беднее этим изотопом ("обедненный" поток урана, где термин "обедненный" означает более низкий процент U-235 по отношению к природному урану). Более подробная информация о процессах обогащения представлена ниже, в главе

"Технологии обогащения"<sup>4</sup>.

Мощность урановой обогатительной установки по повышению процента U-235 представлена в единицах, которые называются килограммом Единицы разделительной работы (ЕРР) (Separative Work Units - SWU, по-английски произносятся "свуз"). В предприятиях производственного уровня мощности установок, как правило, составляют от нескольких сот до нескольких тысяч метрических тонн ЕРР (МТЕРР) в год. (1 МТЕРР = 1000 ЕРР.) Единица разделительной работы - это комплексная единица, которая зависит как от доли U-235, которую хотят получить в обогащенном потоке, так и от того, сколько U-235 из исходного вещества остается в потоке, обедненном данным изотопом. Единицу ЕРР (SWU) можно рассматривать как количество усилий, которые необходимо приложить для достижения установленной степени обогащения. Чем меньше U-235 из исходного вещества следует оставить в обедненном уране, тем больше ЕРР необходимо для достижения желаемой степени обогащения<sup>5</sup>.

Количество ЕРР, обеспечиваемое обогатительной установкой, напрямую зависит от объема энергии, потребляемой этой установкой. Две самые распространенные технологии обогащения на сегодняшний день, о которых подробно написано ниже, значительно отличаются в своем энергопотреблении. Для современных газодиффузионных установок, как правило, требуется от 2400 до 2500 киловатт-час (кВ-ч) электроэнергии на ЕРР, тогда как газогенераторные центрифужные установки потребляют только 50-60 кВ-ч электроэнергии на ЕРР.

Для того чтобы обеспечить типовой легководный ядерный реактор мощностью 1000 мегаватт электроэнергии, использующий обогащенный уран в качестве топлива, потребуется примерно от 100 000 до 120 000 объема услуг по обогащению урана в ЕРР в год. Если бы такое обогащение было обеспечено за счет газодиффузионной установки (по примеру функционирующей сегодня в городе Падьюка, штат Кентукки, США), тогда на процесс обогащения ушло бы примерно 3-4% от объема электроэнергии, генерированного данным реактором<sup>6</sup>. С другой стороны, если бы обогащение топливного урана было проведено в газогенераторных центрифугах (которые действуют сегодня во многих регионах мира), тогда на процесс обогащения ушло бы менее 0,1% от объема электроэнергии, генерированного ядерной установкой за год.

Помимо килограмма ЕРР, стоит рассмотреть еще один важный параметр. Это масса природного урана, которая необходима для получения желаемой массы обогащенного урана. Как и с количеством ЕРР требуемое количество исходного материала также будет зависеть от желаемой степени обогащения, а также от количества U-235, которое остается в обедненном уране. Требуемое количество природного урана будет сокращаться при уменьшении доли U-235, которую необходимо оставить в обедненном уране.

К примеру, при обогащении НОУ для легководного ядерного реактора в обогащенном потоке обычно содержится 3,6% U-235 (по сравнению с 0,7% в природном уране), а в обедненном потоке содержится от 0,2 до 0,3 процента U-235. Для выработки одного килограмма такого НОУ потребуется примерно 8 килограмм природного урана и 4,5 ЕРР, если допустимая доля U-235 в обедненном урановом потоке составляет 0,3%. С другой

стороны, если в обедненном потоке останется только 0,2% U-235, тогда потребуется всего лишь 6,7 килограмма природного урана, однако - около 5,7 ЕРР для обогащения.

Для получения одного килограмма высокообогащенного урана (то есть урана, содержащего 90% U-235), потребуется более 193 ЕРР и почти 219 килограммов природного урана при условии, что в обедненном уране останется 0,3% U-235. Если допустимая доля U-235 в обедненном уране составит 0,2%, потребуется почти 228 ЕРР и более 176 килограмм природного урана.

В Таблице 2 представлена краткая информация о затратах (на природный уран и услуги по его обогащению), которые требуются для получения одного килограмма НОУ и одного килограмма ВОУ с долей U-235, составляющей 0,2% и 0,3% в обедненном урановом потоке.

**Таблица 2: Затраты на получение одного килограмма низкообогащенного урана и одного килограмма высокообогащенного урана**

	Низкообогащенный уран (НОУ)		Высокообогащенный уран (ВОУ)	
	Природный уран	Услуги по обогащению	Природный уран	Услуги по обогащению
<b>Доля U-235 в обедненном потоке составляет 0,3 %</b>	8,2 кг	4,5 ЕРР	219 кг	193 ЕРР
<b>Доля U-235 в обедненном потоке составляет 0,2 %</b>	6,7 кг	5,7 ЕРР	176 кг	228 ЕРР

НОУ = уран, содержащий 3.6% U-235, обычно используется в легководном реакторе.

ВОУ = уран, содержащий 90% U-235, обычно используется для создания ядерного оружия.

ЕРР = Единица разделительной работы

кг = килограмм

С учетом того, что требуемый объем природного урана и ЕРР в процессе обогащения меняются в противоположном направлении для установленной степени обогащения, природный уран дешев, а услуги по его обогащению дороги, владельцы обогатительных установок согласятся на "выброс" большей доли U-235 в обедненный поток (то есть, им будет выгоднее использовать больше природного урана и меньше ЕРР). С другой стороны, если природный уран дороже услуг по его обогащению, тогда владельцы

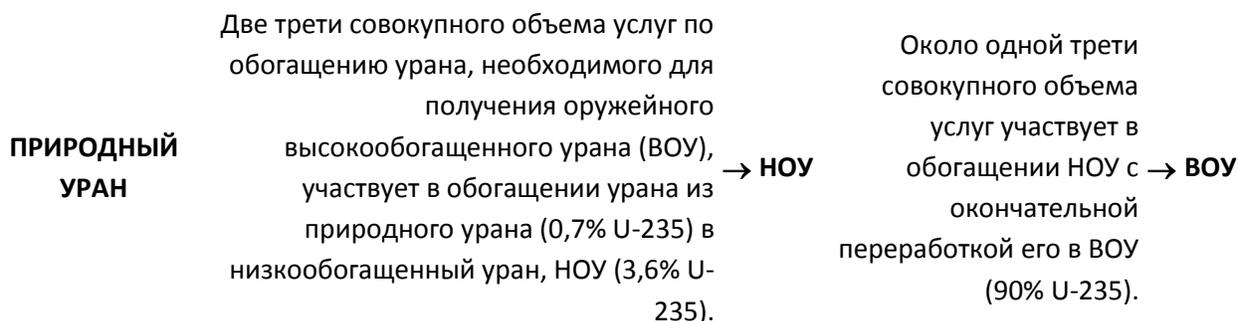
установок выберут обратный вариант.

Для того чтобы обогатить уран для атомной бомбы, эквивалентной той, что США сбросили на Хиросиму (это примерно 60 кг ВОУ), потребовалось бы от 10,6 до 13,1 метрических тонн природного урана, а также от 11 600 до 13 700 ЕРР для обогащения. Однако для создания более сложных видов ядерного оружия потребовалось бы намного меньше половины этого количества. Для современного типа урановых бомб обычно требуется только 20-25 килограмм ВОУ.

Если вместо природного урана в качестве исходного вещества для выработки ВОУ использовался бы низкообогащенный уран (содержащий 3,6% U-235), тогда для получения одного килограмма высокообогащенного урана потребовалось бы лишь 70-78 ЕРР и 26-27 килограмм исходного вещества. Это значит, что для получения ВОУ, необходимого для создания эквивалента бомбы, сброшенной на Хиросиму, потребовалось бы обогатить всего лишь 1,6 тонны НОУ, то есть меньше одной десятой от общего количества НОУ, необходимого для ежегодного снабжения топливом одного ядерного реактора мощностью 1000 мВт. Таким образом, примерно две трети совокупного объема услуг по обогащению урана, необходимого для получения оружейного ВОУ, участвует в обогащении урана из природного урана (0,7% U-235) в НОУ (3,6% U-235). При этом только около одной трети совокупного объема услуг участвует в обогащении НОУ с окончательной переработкой его в ВОУ (90% U-235), как показано на схеме.

Таким образом, запасы низкообогащенного урана, если их поддерживать в состоянии, удобном для обогащения (то есть таком, как гексафторид урана), могут стать исходным веществом для более легкого и быстрого получения высокообогащенного урана, применяемого для создания ядерного оружия. Это одна из самых опасных сторон широкого распространения технологий обогащения в рамках распространения ядерной энергетики.

#### **Услуги по обогащению, необходимые для получения высокообогащенного урана из природного урана**



#### **Технологии обогащения**

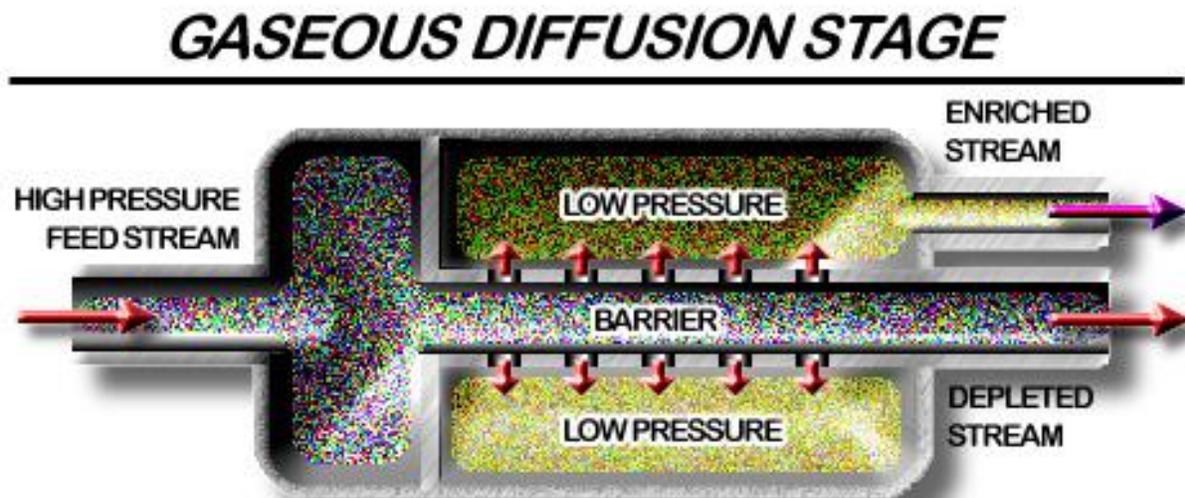
Широкое применение получили четыре технологии обогащения урана. Три из них -

газовая диффузия, газовое центрифугирование и форсунка / аэродинамическое разделение - основаны на конверсии урана в газ гексафторид урана ( $UF_6$ ). Четвертый метод - электромагнитное разделение - основан на использовании ионизированного уранового газа, получаемого из твердого тетрахлорида урана ( $UCl_4$ ).

### *Газовая диффузия*

Процесс газовой диффузии использовался для обогащения почти всего низко- и высокообогащенного урана, который производился в США. Впервые этот метод был разработан в 1940-х годах в рамках Манхэттенского проекта и был частично применен при обогащении урана для бомбы, сброшенной на Хиросиму. Все пять известных ядерных держав-участниц Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО) в тот или иной период времени ввели в эксплуатацию газодиффузионные установки, однако на сегодняшний день такие объекты продолжают функционировать только в США и Франции. Для процесса диффузии необходимо закачать уран, находящийся в газообразном состоянии, через большое количество пористых барьеров. Это очень энергоемкий процесс.

Для того чтобы превратить уран в газообразное состояние, при котором он может участвовать в процессе газовой диффузии, осуществляют конверсию природного урана в гексафторид урана ( $UF_6$ ). Молекулы гексафторида урана, содержащие атомы U-235, будучи немного легче, станут двигаться через каждый барьер с несколько более высокой степенью разделения, нежели те, которые содержат атомы U-238. Для визуализации этого процесса можно привести пример продувания песка через множество решет. Более мелкие песчинки будут преимущественно проходить через каждое решето и, таким образом, после каждой ступени отсеивания они будут составлять несколько более высокий процент от общего объема песчинок, по сравнению с тем процентом, который они имели на предыдущей ступени просеивания. Схема одной из таких ступеней просеивания в газодиффузионной установке представлена на Рисунке 1.



**Рисунок 1: Схема одной ступени обогащения в газодиффузионной установке.** Более темные цвета представляют молекулы  $UF_6$ , которые содержат более тяжелые атомы U-238, тогда как более светлыми цветами изображены газовые молекулы, содержащие более легкие атомы U-235. После каждой ступени газ, который переходит к низконапорной стороне барьера (т.е. стороне выхода потока) имеет более высокий процент U-235, по сравнению с тем, который был на предыдущей ступени. (Данная схема основана на диаграмме, которая любезно предоставлена [Американской корпорацией по обогащению урана \(USEC\)](#))

Разница в массах, а значит и скоростях молекул  $UF_6$ , содержащих U-235 и U-238, невелика. Таким образом, чтобы обогатить большие промышленные или военные объемы урана, необходимы тысячи ступеней обогащения. В газодиффузионной установке ступени построены в "каскады", которые позволяют на каждой ступени приращивать обогащение, полученное на предыдущих ступенях, а также более эффективно использовать обедненный урановый поток. Чтобы понять масштаб такого производства, нужно знать, что на момент строительства газодиффузионного завода, возведенного в начале 1940-х годов в городе Ок-Ридж, штат Теннесси, США, это был крупнейший промышленный объект в мире.

Наиболее сложной задачей при возведении газодиффузионной установки является производство проницаемых барьеров, которые необходимы для работы диффузоров. Материал для таких барьеров должен быть высокопрочным и способным поддерживать одинаковый диаметр пор в течение нескольких лет работы установки. Это очень сложная задача при использовании газа гексафторида урана, который обладает высококоррозионным свойством. Толщина типичных барьеров составляет всего 5 миллиметров (менее 0,2 дюйма), а их отверстия лишь в 30-300 раз больше диаметра одного атома урана.

Помимо того, что в ходе работы установки требуются большие объемы электроэнергии, компрессоры в газодиффузионных производствах также генерируют много тепла, которое нужно рассеивать. В американских установках теплоотдача происходит с помощью истощающих озон хлорфторуглеродов (CFCs), таких как охладитель CFC-114 (нередко его называют фреон или фреон-114). Производство, ввоз, а также применение CFC было серьезно ограничено в 1987 году Монреальским протоколом о веществах, которые истощают озоновый слой (Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer) и который США выполняют посредством поправок 1990 года к Закону о контроле над загрязнением воздуха (Clean Air Act).

В результате таких мер производство фреона в США было прекращено в 1995 году. С 1991 по 2002 годы выбросы этого вещества в атмосферу со стороны крупных потребителей в США сократились почти на 60%. Однако выбросы газодиффузионного завода в городе Падьюка (штат Кентукки, США) остались фактически на том же уровне за данный период, сократившись всего на 7% с 1989 по 2002 годы. В 2002 году Падьюкский обогатительный завод выбросил в атмосферу более 197,3 метрических тонны фреона через негерметичные трубы и прочее оборудование. Только с одного этого объекта в атмосферу попало свыше 55% всех выбросов этого истощающего озоновый слой CFC со

всех крупных производств США за 2002 год.

Из-за того, что с 1995 г. фреон в США не производится Американская корпорация по обогащению урана (USEC)<sup>7</sup> в настоящее время ищет теплоноситель, который не содержит CFC. Но любые другие охладители все равно будут иметь тепловой улавливающий потенциал, и таким образом, даже если они не будут представлять опасность для озонового слоя, они все равно останутся потенциально опасными с точки зрения глобального потепления и изменения климата.

Характерная особенность газодиффузионных установок - большое выделение тепла - позволяет выявить те из них, функционирование которых значительно превышает 100 МТЕРР в год. Однако подобная информация, скорее всего, будет значима лишь для выявления деятельности на известных установках, но не на нелегальных объектах, поскольку существует много других промышленных процессов с выделением больших объемов тепла. Следовательно, несмотря на то что такие обогатительные урановые производства, как газодиффузионные установки практически невозможно скрыть из-за их размеров, потребности в электроэнергии и тепловыделения, все-таки крайне сложно выявить какой-либо объект на расстоянии, не имея доступа к экологическим выборкам на прилегающих территориях (например, образцы почвы), которые могут убедительно указывать на присутствие обогащенного урана.

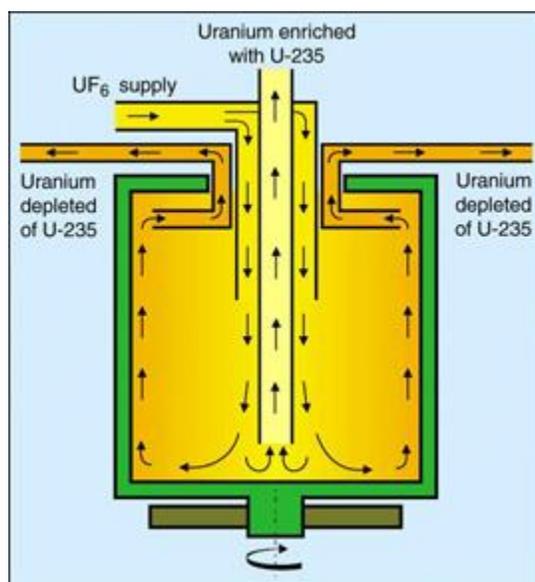
### *Газовое центрифугирование*

В настоящее время газовое центрифугирование - основной метод обогащения урана в мире. Эта технология обсуждалась в США в рамках Манхэттенского проекта, однако для полномасштабного производства дальнейшее развитие получили такие методы, как газовая диффузия и электромагнитное разделение. Позднее метод центрифугирования был разработан в России группой специалистов под руководством австрийских и немецких ученых, попавших в плен во время второй мировой войны. Со временем руководитель научной группы в России был освобожден. Сначала он привез эту технологию в США, а затем в Европу, где приступил к внедрению этого метода для обогащения промышленного ядерного топлива.

Центрифугирование - это распространенный метод, применяемый в различных целях, например, при отделении плазмы от более тяжелых красных клеток крови. Цикл вращения в стиральной машине работает по аналогичному центрифужному принципу. В процессе обогащения газообразный гексафторид урана подают в быстро вращающиеся цилиндры. Для достижения максимальной степени обогащения на каждой ступени современные центрифуги способны вращаться со скоростью, приближенной к скорости звука. Именно по этой причине управлять процессом центрифугирования крайне сложно, поскольку при высокой степени вращения необходимо, чтобы центрифуга была прочна, практически идеально сбалансирована и готова к эксплуатации в таком виде в течение многих лет без остановки на техническое обслуживание.

Внутри вращающейся центрифуги более тяжелые молекулы, содержащие атомы U-238, преимущественно движутся по направлению к внешней стороне цилиндра, а более легкие

молекулы, содержащие U-235, остаются ближе к центральной оси. Затем газ в этом цилиндре начинает циркулировать снизу вверх, продвигая обедненный уран, который находится ближе к внешней стенке, по направлению к верхней части, а газ, обогащенный U-235 - от центра по направлению к нижней части. Затем два потока, один обогащенный, а другой обедненный, можно извлечь из центрифуги и ввести на соседние ступени для формирования каскада, который описан выше, с диффузорами в газодиффузионных установках. Схема подобной центрифуги представлена на Рисунке 2.



**Рисунок 2:** *Схема профиля газогенераторной центрифуги. Вращающийся цилиндр форсирует более тяжелые атомы U-238 по направлению к внешней части центрифуги, при этом оставляет более легкие атомы U-235 ближе к центру. Поток, который вращается снизу вверх, позволяет разделить обогащенный и обедненный потоки и отправить их через трубки на последующие ступени (Рисунок основан на схеме, любезно предоставленной [Европейским ядерным обществом](#) (European Nuclear Society)).*

Подобно газодиффузионному процессу, обогащение урана с помощью газового центрифугирования требует от тысяч до десятков тысяч стадий, чтобы обогатить большие объемы урана в промышленных или военных целях. Кроме того, подобно газодиффузионным установкам, в центрифужных необходимо использовать специальные материалы для предотвращения коррозии, которую вызывает гексафторид урана и который, вступив в реакцию с влагой, может образовать высококоррозионный газ из фтористоводородной кислоты. Одним из наиболее важных преимуществ газового центрифугирования перед газодиффузионным процессом является то, что при достижении одинаковой степени обогащения на данный процесс уходит в 40-50 раз меньше электроэнергии. Использование центрифуг также помогает сократить объем использованного тепла, которое генерируется при сжатии газа  $UF_6$ , и таким образом уменьшить количество требуемых для этого охладителей, таких как фреон.

Несмотря на большую мощность разделения на каждой стадии по сравнению с газодиффузионным процессом, здесь, как правило, требуется намного меньше урана,

который можно пропустить через каждую стадию в центрифуге за определенное время. Обычные современные центрифуги способны достигать примерно от 2 до 4 ЕРР ежегодно. Поэтому для обогащения достаточного объема оружейного ВОУ в год, который можно использовать при создании ядерного оружия, эквивалентного сброшенному на Хиросиму, потребуется от 3000 до 7000 центрифуг. Подобное производство способно потреблять от 580 000 до 816 000 кВт-ч электроэнергии, которую может обеспечить установка мощностью менее 100 киловатт. При создании современных видов оружия эти цифры могут сократиться до 1000-3000 центрифуг и 193 000-340 000 кВт-ч.

Ожидается, что степень обогащения на каждой стадии в современных моделях центрифуг в десять раз превысит ту, что обеспечивают центрифуги, действующие в настоящее время. Это способно еще больше сократить затраты на производство ВОУ. Как сообщают источники, продажа старой модели европейской центрифуги в такие страны, как Ливия, Иран и Северная Корея через сеть, возглавляемую компанией A.Q. Khan, которая раньше руководила программой ядерного оружия в Пакистане, вызывает особое беспокойство с точки зрения ядерного распространения, поскольку центрифуги обладают меньшими габаритами и энергопотреблением в процессе обогащения.

#### *Электромагнитный метод разделения радиоактивных изотопов урана (EMIS)*

Электромагнитный метод разделения радиоактивных изотопов - это третий тип обогащения урана, который широко применялся в прошлом. Установка по электромагнитному разделению была разработана в рамках Манхэттенского проекта в городе Ок-Ридж, штат Теннесси. Этот метод применяли для обогащения природного урана и последующего обогащения урана, первоначально переработанном на газодиффузионном заводе, который также находился на комбинате в Ок-Ридже. Использование этой установки было приостановлено сразу после войны из-за ее дороговизны и низкой производительности.

Ирак создал эту технологию в 1980-х годах в рамках своей программы по производству ВОУ из-за ее относительной простоты. Однако она производила лишь небольшие объемы среднеобогащенного урана (только выше 20%).

Процесс электромагнитного разделения основан на том, что, двигаясь в магнитном поле, заряженная частица следует по криволинейной траектории, радиус которой зависит от массы частицы. Более тяжелые частицы будут проходить более широкий цикл по сравнению с более легкими частицами при условии, что эти частицы одинаково заряжены и двигаются с одинаковой скоростью.

В процессе обогащения тетрахлорид урана ионизируют в плазму урана, то есть нагревают твердое соединение  $UCl_4$ , и образуется газ, который затем облучают электронами для получения свободных атомов урана, которые потеряли электроны и становятся положительно заряженными. Затем ионы урана ускоряют и пропускают через сильное магнитное поле. После прохождения половины цикла, пучок ионизированных атомов урана разделяется на обедненную часть, расположенную ближе к внешней стенке, и на

обогащенную U-235 часть, которая расположена ближе к внутренней стенке.

Из-за большого энергопотребления при создании сильного магнитного поля, а также низкого темпа отбора исходного уранового вещества, к тому же более медленного и менее удобного функционирования такой установки, метод электромагнитного разделения неперспективен для обогатительных заводов промышленного масштаба, в особенности, в свете действующих на сегодняшний день высокоразвитых моделей газогенераторных центрифуг.

### *Форсунка / Аэродинамическая сепарация*

Последний процесс обогащения урана, который получил широкое применение, называется аэродинамической сепарацией. Сначала этот способ был разработан в Германии и использован правительством Южной Африки во времена апартеида на заводе, который предположительно возвели для обеспечения низкообогащенным ураном южноафриканские промышленные АЭС, а также для получения небольшого количества высокообогащенного урана с целью обеспечения топливом исследовательского ядерного реактора. На самом деле этот обогатительный завод также поставлял примерно 400 килограммов урана, обогащенного более чем на 80% для военных целей. В начале 1990-х годов президент Южной Африки Фредерик де Клерк объявил о прекращении всей военной ядерной деятельности и уничтожении всех существующих бомб. Эти задачи были выполнены через полтора года - сразу после того, как Южная Африка стала участницей ДНЯО и перед тем, как начали действовать проверки и гарантии Международного агентства по атомной энергии.

Аэродинамическая сепарация изотопов (куда входят форсунка и спиральная волна) достигает обогащения аналогичным образом, как и метод газового центрифугирования, в том смысле, что газ форсируют по криволинейной траектории, которая движет более тяжелые молекулы, содержащие U-238, по направлению к внешней стенке, а более легкие молекулы, содержащие U-235, остаются ближе к внутренней. В форсуночных установках, газ гексафторид урана вытесняется под давлением за счет гелия или водородного газа для увеличения скорости газового потока. Затем это соединение пропускают через множество маленьких трубочек круглого сечения, которые отделяют внутренний обогащенный поток от внешнего обедненного потока.

Форсунка / аэродинамическая сепарация относится к числу менее экономичных из всех применяемых технологий обогащения, особенно с учетом наличия технических сложностей производства разделительных форсунок и большого энергопотребления при сжати UF<sub>6</sub> и смеси газа-носителя. Как и в газодиффузионных установках, в ходе работы установки по аэродинамической сепарации также происходит генерирование больших объемов тепла, которые в свою очередь требуют большого количества таких как фреон охладителей.

### *Другие технологии*

Существует ряд других способов обогащения урана. Это AVLIS - технология лазерного

разделения изотопов в атомарной форме, MLIS - молекулярный метод лазерного разделения изотопов, CRISLA - химическая реакция через избирательную изотопную лазерную активацию, а также химическое и ионное обогащение, которые также были разработаны, однако в основном пока находятся в стадии испытаний или демонстрации и не применялись для обогащения урана в промышленных или военных целях.

Такие процессы, как AVLIS, CRISLA и MLIS используют незначительную разницу в атомных свойствах U-235 и U-238 для того, чтобы с помощью мощных лазеров преимущественно возбуждать или ионизировать один изотоп над другим. В методе AVLIS используют урановый металл в качестве исходного вещества, а также электростатические поля для отделения положительно заряженных ионов U-235 от незаряженных атомов U-238. В технологиях MLIS и CRISLA в качестве исходного вещества применяют гексафторид урана, соединенный с другими технологическими газами, а также используют два различных лазера с тем, чтобы возбудить, а затем химически изменить молекулы гексафторида урана, содержащие U-235, которые затем можно отделить от других молекул, содержащих U-238, не подвергшихся воздействию лазера. Технология AVLIS была разработана Американской корпорацией по обогащению урана для промышленного применения, однако в конце 1990-х годов от нее отказались из-за ее нерентабельности. При этом в других странах также прекратили применять все известные производственные программы с технологиями AVLIS и MLIS. Однако небольшая работа все же идет на предполагаемых исследовательских объектах, где применяют данные технологии по изотопному разделению урана, а также других радионуклидов, включая плутоний.

Существует также метод обогащения, который использует небольшую разницу в химических свойствах изотопов для отделения U-235 от U-238. Это так называемые химический и ионный процессы обогащения, которые были разработаны в рамках программ правительства Франции и Японии. С помощью специальных растворов уран можно разделить на обогащенную часть, которая содержится в одном потоке растворителя, и обедненную часть, содержащуюся в другом потоке растворителя, который не смешивается с первым - так же как масло и вода. Эта технология обогащения была применена в Ираке. На сегодняшний день все известные программы, включающие и этот способ, закрыты, как минимум, с начала 1990-х годов.

Все эти технологии обогащения демонстрировались не очень широко, хотя некоторые из них, такие как AVLIS, ушли значительно дальше в своей разработке, что способно повысить их до уровня применения на производственных объектах. Потенциальное применение подобных альтернативных технологий при обогащении урана в нелегальных программах продолжает вызывать опасения, в особенности, если вопрос рентабельности установки не стоит остро, и она предназначена лишь для получения довольно небольшого количества ВОУ, необходимого для одной - двух бомб в год. Однако на сегодняшний день основной технологией промышленного обогащения урана в перспективе для атомной энергетики и потенциального распространения ядерного оружия остается газовое центрифугирование.

---

## Источники

1. К примеру, читайте следующие статьи: [Использование "более пригодного" ядерного оружия становится реальностью?](#), ЭБ № 26; [Энергетический план Чейни: технически непродуман и неполон](#), ЭБ № 18; [Плутониевый эндшпиль: прекратить репроцессинг, начать иммобилизацию](#), ЭБ № 16; а также [ЭБ № 13](#).
2. Торий-232, который также является природным веществом, можно использовать для создания бомб сначала путем преобразования в ядерном реакторе в U-233 (изотоп урана, который фактически не встречается в природе). Однако для такой переработки реактору потребуется урановое топливо или топливо, полученное из урана (например, плутоний) при условии, что U-233 будет произведен из тория-232 в большом количестве.
3. "Тяжелая вода" - это вода, где имеется дейтерий (тяжелый водород) вместо обычного водорода, содержащегося в обычной или, как ее называют, легкой воде. Атомное ядро дейтерия содержит один протон и один нейтрон в отличие от водорода, в ядре которого содержится лишь один протон.
4. Процессу обогащения урана предшествуют его добыча, затем дробление и конверсия. Как правило, уран добывается в карьерах и шахтах. Более широкое применение получили альтернативные методы, такие как подземное выщелачивание, при которых для растворения урана в подземное месторождение вводятся особые растворы. Работы по добыче и дроблению урана оказали негативное воздействие на коренное население всех стран мира. Из руды методом дробления (очистения) извлекается окись урана ( $U_3O_8$ ), имеющая форму "желтого кекса" - это желтый или коричневый порошок, где содержится около 90% окиси урана. В США на совокупный объем "хвостов" приходится более 95% общего объема всех радиоактивных отходов на всех стадиях производства ядерного оружия и электроэнергии. Несмотря на то, что опасность от одного грамма "хвостов" мала по сравнению с большинством других радиоактивных отходов, большие объемы этих отходов и отсутствие соответствующих законодательных мер вплоть до 1980 года привели к значительному повышению уровня загрязнения окружающей среды. В процессе конверсии "желтый кекс" превращается в гексафторид урана ( $UF_6$ ).
5. Единицы разделения работы (EPP) измеряются в килограммах, хотя на самом деле они определяют усилие, которое необходимо для повышения процента U-235 в урановом потоке установленных уровней.
6. Здесь предполагается, что такая ядерная установка работает с полной нагрузкой приблизительно на 80-90% в году.
7. USEC владеет двумя газодиффузионными заводами в США, один из которых расположен в городе Пайктон, штат Огайо (который прекратил промышленное обогащение урана), а другой находится в городе Падьюка, штат Кентукки. USEC была создана как государственная корпорация в соответствии с Законом об энергетике от 1992 года и была приватизирована по закону от 1996 года. USEC хочет возвести газодиффузионные производства в Пайктоне. В этом году Комиссия США по ядерному регулированию выдала USEC лицензию на строительство и эксплуатацию объекта, так называемого Ведущего каскада в Пайктоне, для определения спроса на газовое центрифугирование на рынке США. Еще одна компания - "Louisiana Energy Services" (LES) - хочет построить в США промышленный газогенераторный центрифужный завод, однако она получила негативный общественный резонанс везде, где предлагала его строительство.

## ОЧЕРК

### Михаил Горбачев и американский народ:

#### *неотпразднованные победы в борьбе за ликвидацию ядерного оружия*

Арджун Макхиджани<sup>1</sup>

---

Бывший президент Советского Союза Михаил Горбачев по праву снискал славу тем, что в середине 1980-х годов инициировал демократизацию и гласность в Советском Союзе. Его твердая поддержка ненасильственных мер дала народу Восточной Европы и Советского Союза возможность открыто обсуждать правительство, доверие, демократию и свободу. При участии президентов Рональда Рейгана и Джорджа Буша-старшего Михаил Горбачев дал всем людям надежду на избавление мира от ядерного оружия.

Однако этот очерк повествует о том, чем Михаил Горбачев известен в меньшей степени. Благодаря его деятельности *в США* были также созданы условия для особой демократизации и гласности в вопросах ядерного оружия. В свою очередь, в конце 80-х - начале 90-х годов это привело к закрытию большинства крупных предприятий по производству ядерного оружия в США. Горбачев не только вселил надежду в народ своей страны, но и освободил сердца и умы людей в Соединенных Штатах от страха, а также дал им возможность по-новому взглянуть на американский истеблишмент, отвечающий за ядерное оружие.

#### Деятельность Горбачева

Началось все в декабре 1984 года с поездки в Великобританию, то есть еще до того, как Горбачев стал Генеральным секретарем Коммунистической партии Советского Союза. Он немедленно был признан потенциальным лидером Советского Союза. Михаил Горбачев и его жена Раиса очаровали премьер-министра Маргарет Тэтчер, которая известна в британской политике как "железная леди". Она сказала, что это человек, с которым "можно иметь дело".

После того, как Горбачев стал Генеральным секретарем, он начал говорить о снижении ядерной угрозы, а также об исключении опасности ядерной войны. Он заменил язык конфронтации языком сотрудничества. Если сама Маргарет Тэтчер могла иметь с ним дело, то нашел с ним общий язык и Рональд Рейган.

Поездка Горбачева в Великобританию неожиданно помогла народу США открыть путь к диалогу с правительством своей страны. Люди перестали испытывать страх перед

Советским Союзом, все больше граждан стало проявлять живой интерес к тому, что происходит в их собственном доме, в частности к проблемам ядерного загрязнения. И раньше находились смельчаки, которых интересовали подобные вопросы, конечно, были такие и в Советском Союзе. Однако ядерный истеблишмент всегда находил способ усмирить людей, прикрыть судебные иски и завуалировать собственную деятельность дежурными фразами о государственной безопасности и пропагандой советской угрозы.

Начиная примерно с визита Горбачева в Великобританию и вплоть до конца 80-х годов, в США быстро росло число людей, обеспокоенных загрязнением воды и воздуха, радиоактивными отходами, а также ядерной безопасностью стареющих предприятий по производству ядерного оружия. Раньше такое общественное волнение успокоили бы довольно быстро. Однако на сей раз местные и национальные средства массовой информации, правоохранительные органы, выборные члены законодательных органов, комитеты конгресса и даже Федеральное бюро расследований (ФБР) США как никогда серьезно подошли к проблемам окружающей среды, связанных с производством ядерного оружия.

Безусловно, во времена "холодной войны" никто и представить не мог, что ФБР отправится с проверкой на предприятие по производству ядерного оружия для выявления экологических нарушений<sup>2</sup>. Такую деятельность расценили бы в США как коммунистический заговор в правительстве. Например, когда в 1954 году на японское рыболовецкое судно "Лаки Дрэгон" упали радиоактивные осадки в результате испытаний водородной бомбы, проводимые Соединенными Штатами на атолле Бикини (коралловый остров в Тихом океане), тогдашний глава Комиссии по атомной энергии лживо утверждал, что это было "красное" шпионское судно, проникшее в запретную зону проведения испытаний<sup>3</sup>.

Но на сей раз, благодаря Горбачеву, который отказался от насилия и дал надежду народам Восточной Европы, принятию нулевого варианта в рамках Договора по ликвидации ракет средней и меньшей дальности (РСМД), а также его, Горбачева, теплым отношениям с президентом Рейганом, результат оказался абсолютно иным. В 1987 году, сразу после подписания договора по РСМД, советский премьер-министр Николай Рыжков заявил: "Я думаю, что зима недоверия ушла в прошлое". С этими словами исчез не только страх перед Советским Союзом. Людям невольно открывалась правда, что на самом деле их собственное правительство - под завесой секретности, из-за несовершенной науки, а также оцепенения общества перед страхом "холодной войны" - причинило им и их детям немало вреда.

### **Случай в Огайо**

Возьмем, к примеру, завод по производству ядерного оружия, расположенный на юго-западе штата Огайо, примерно в 17 милях к западу от города Цинциннати. Это предприятие выпустило полмиллиона тонн уранового металла, который в основном использовался в американских плутониевых ядерных реакторах, расположенных в городе Ханфорд и штате Южная Каролина. В декабре 1984 года Лиза Кроуфорд, которая живет неподалеку от завода, узнала, что в нескольких колодцах этого района обнаружен уран. До

этого ни она, ни другие жители даже не подозревали о том, что соседствуют с заводом-производителем ядерного оружия. Он назывался Центром по производству сырья (Feed Materials Production Center), и его водонапорная башня, окрашенная в красно-белый цвет в шахматном порядке, походила на логотип компании "Пурина" (Purina) - известного производителя кормов для животных. Рядом паслись коровы, и многие думали, что это кормовое производство. Другие были уверены, что предприятие занимается изготовлением краски, поскольку его контролировала дочерняя компания "Нэшнл Лид Индэстриз" (National Lead Industries) - известного в то время производителя краски. Немногие знали, что это был ядерный завод-производитель, который еще называют "Ферналд" (Fernald).

В январе 1985 года в этой тихой части штата Огайо, где народ всегда придерживался консервативных антикоммунистических взглядов, произошел скандал. Люди хотели знать, в чьи колодцы попал уран. Том Люкен, тогдашний представитель этого района в конгрессе США, устроил собрание. Пришли сотни людей. Лиза узнала, что ее колодец заражен. У нее был маленький сын. Она готовила пищу на воде из этого колодца и заполняла ею свой бассейн. Новость поразила ее.

Как водится, американский истеблишмент, контролирующий вопросы ядерного оружия, заявил, что эта вода безопасна и волноваться не о чем. Но в отличие от 50-х, 60-х и 70-х годов, когда люди верили подобным заверениям, в этот раз Лиза и ее соседи отнеслись к ним с подозрением. Лиза боялась, что ее сынишка может заболеть раком (к счастью, он здоров). Поэтому она поступила так. Во-первых, хотя это мучительное решение далось непросто, они с мужем решили больше не иметь детей. Во-вторых, Лиза стала покупать чистую воду. В-третьих, в конце января 1985 года она подала в суд на проправительственную корпорацию, которая управляла заводом "Ферналд". Иск был составлен от имени ее семьи, а также 14 000 жителей этого района. Люди обвиняли компанию "Нэшнл Лид оф Огайо" (National Lead of Ohio) в халатности, а также угрозе их здоровью и нанесению имущественного ущерба. Правительство США поддержало иск и оплатило по нему все издержки.

Судебные иски по вопросам ядерного оружия подавали и раньше. На самом деле, генерал Гроувз, возглавлявший Манхэттенский проект во время второй мировой войны, предвидел такую опасность уже в апреле 1945 года<sup>4</sup>.

Еще один пример. В 50-х годах пастухи подали в суд иск на правительство, обвиняя его в смерти тысяч овец от радиоактивных осадков. Однако представители Комиссии по атомной энергии солгали суду, что это была вовсе не радиация. Дело было прекращено. В 1980 году судья узнал правду и написал, что при даче показаний по этому делу правительство "ввело суд в заблуждение" и "солгало"<sup>5</sup>. Он аннулировал свое прежнее решение и вынес новое в пользу пастухов. Но правительство США обжаловало его и выиграло дело.

Там, где другие проиграли, Лизе удалось победить. С 1985 по 1989 годы завод "Ферналд" получил широкую огласку в местных и национальных средствах массовой информации. Теперь Лизу знал не только Огайо, но и вся страна. По решению суда в рамках этого дела

Институту энергии и окружающей среды было поручено провести экспертный анализ о наличии радиоактивных выбросов на этом заводе. В 1989 году мы с Берндом Фрэнки обнародовали первую независимую оценку о радиоактивных выбросах на предприятии по производству ядерного оружия. Мы пришли к выводу, что истеблишмент, отвечающий за ядерное оружие, подготовил слабую научную базу, внес в официальные документы ложную информацию, допустил халатность в управлении заводом, а также нарушил свои же нормативы по радиоактивной безопасности. Мы также поняли, что реальные цифры по выбросам урана на этом объекте значительно превысили те, что обнародовало правительство и его подрядчики. По нашим подсчетам, в 50-х годах, эти выбросы, вероятно, составляли более 300 000 килограммов урана, тогда как правительственные цифры в 1987 году указывали на 135 000, а в 1989 их исправили на 179 000 килограмм<sup>6</sup>.

В апреле 2004 года я поинтересовался у Лизы, повлияло ли на ее мнение то обстоятельство, что Горбачев стал тогда Генеральным секретарем, а затем президентом СССР. Она ответила "да", но косвенно. Однако она добавила, что это сильно повлияло на ее оценку критики правительства США в отношении Советского Союза. В частности, она упомянула Чернобыльскую трагедию. Тогда она подумала: "США потрясены тем, что СССР три дня не сообщал им о трагедии, а сами (правительство) за тридцать лет и словом не обмолвились (о заводе "Ферналд)". Пропагандистские уловки американского правительства, которые заключались в умении акцентировать на проблемах Советского Союза, больше не действовали. Это не переключило внимания Лизы с тех проблем, на которых она сосредоточилась, а именно - желания выяснить все о загрязнении ее района<sup>7</sup>.

В июне 1989 года правительство заплатило по иску 78 миллионов долларов. Эти деньги, в основном, тратят на медицинское обследование людей. Однако это еще не все. В июле 1989 года деятельность завода "Ферналд" была окончательно прекращена. Закончилась "холодная война", Лиза выиграла свой иск, разразился скандал вокруг радиоактивного загрязнения воздуха и воды. Все эти события помогли достичь значительного прогресса в вопросе разоружения. Завод "Ферналд" демонтировали, а его прилегающие здания снесли.

### **Угроза взрыва емкости**

Июнь 1989 года был ознаменован и другими историческими событиями. Тогда советское правительство признало, что в 1957 году в Челябинске-65 произошел взрыв емкости с высокорadioактивными отходами, представив отчет об аварии в Международное агентство по атомной энергии. Я считаю, что это был своеобразный ответ на вопрос, который поднял доктор Бернارد Лоун в апреле 1989 года на встрече с тогдашним советским министром иностранных дел Эдуардом Шеварднадзе. Это также оказало серьезное влияние на простых людей в Соединенных Штатах. Центральное разведывательное управление (ЦРУ) США знало об этой аварии еще с 1959 года. Однако, в отличие от многих других случаев, он не был использован в целях пропаганды. Наоборот, ЦРУ держало его в секрете вплоть до 1977 года, когда в результате запроса неправительственной организации "Паблик Ситизен" (Public Citizen) в соответствии с Актом о свободе информации были обнаружены документы, подтверждающие этот факт. (В 1976 году советский ученый и диссидент Жорес Медведев, будучи на Западе, написал

об этой аварии.)<sup>8</sup>

Я предполагаю, что Комиссия по атомной энергии не хотела признавать, что в Соединенных Штатах также существовала угроза взрыва емкости, связанная с накоплением водорода, поскольку США продолжали настаивать на своей официальной версии о полной безопасности даже после обнародования документов ЦРУ. Однако в 1989 году, когда СССР официально признался в случившемся взрыве, это привело к более глубокому исследованию проблем в США, проводимому неправительственными организациями и американским Конгрессом. Министерство энергетики назначило собственную комиссию по проверке емкостей с высокорadioактивными отходами в Ханфорде, были предприняты меры к снижению риска подобных взрывов. Обеспокоенность в связи с существующей опасностью способствовала окончательному закрытию в начале 90-х годов последнего действующего завода по разделению плутония в Ханфорде.

### **ФБР проводит рейд на "Роки Флэтс" (Rocky Flats)**

Возможно, наиболее ярким событием в июне 1989 года в этой связи стал рейд ФБР на завод "Роки Флэтс", расположенный в городе Денвер. Это предприятие промышленного масштаба по производству так называемых плутониевых пил для ядерного арсенала страны. Во время "холодной войны" такое и представить никто не мог. Однако к 1989 году вопросы безопасности в ядерном комплексе освещались ежедневно. Конгресс страны расследовал эксперименты по облучению людей, которые проводило правительство США. Все больше слушаний Конгресса посвящается вопросам здоровья и безопасности. До середины 80-х годов подобные заседания, как правило, превращались в профанацию и заканчивались выделением еще больших средств на ядерный истеблишмент. Число скандалов множилось.

В этой обстановке федеральные чиновники Министерства юстиции, которые работали в штате Колорадо, узнали, что возможно на территории "Роки Флэтс" производится нелегальное сжигание отходов с содержанием плутония. В штаб-квартире ФБР в Вашингтоне приняли это к сведению и назначили проверку. Министерство юстиции созвало большое жюри для расследования причастности корпорации, которая руководит заводом, к экологическим преступлениям. Производство на "Роки Флэтс" было остановлено. Заместитель министра по энергетике У. Хенсон Мур (W. Henson Moore) отправился в Денвер и признал, что это предприятие функционировало так, словно для ядерного истеблишмента законы не писаны.

В конце 50-х годов "Роки Флэтс" *ежедневно* выпускал около 10 плутониевых пил. После его закрытия в 1989 году правительство США серьезно намеревалось вновь открыть его, предварительно устранив все ошибки в отношении безопасности и экологии. Но "Роки Флэтс" так никогда и не открыли. Он больше не будет производить ядерное оружие. Его демонтировали, хотя плутоний останется еще надолго в виде остаточного загрязнения.

К 1989 году в обществе назрел серьезный протест: коль скоро США подписывают соглашения о сокращении ядерного оружия, то почему здоровью людей угрожают

действующие опасные предприятия по его производству? Исторические события, происходившие тогда в Восточной Европе, которые известны нам из книг, нашли свой отклик в Колорадо и других уголках страны. Сегодня мировое значение этих событий местного масштаба становится очевиднее, чем это было тогда.

### **Неизвестные победы**

Перечислять подобные события местного масштаба, касающиеся, в том числе, здоровья и экологии, которые дополнили большие достижения в ликвидации ядерного оружия, можно очень долго. В тот же период времени были закрыты все американские ядерные реакторы по производству плутония и трития. Прекратил функционировать огромный завод по разделению плутония в городе Ханфорд, штат Вашингтон, где в свое время был произведен плутоний для бомбы, сброшенной на Нагасаки. Закрыли также много более мелких предприятий. Когда в конце 80-х - начале 90-х Соединенные Штаты сокращали крупные заводы по созданию ядерного оружия, они на самом деле намеревались снова возобновить это производство. Случалось, предприятия закрывали на один день до следующего утра, оставляя сырье на поточных линиях.

Советский мораторий на испытание ядерного оружия, который инициировал Михаил Горбачев, получил отклик в США. Ядерный истеблишмент выступал против превращения моратория в американский закон, но проиграл. (Однако в качестве утешительного приза, он все-таки получил так называемую программу по обеспечению запасов ядерного оружия, а также много средств на ее реализацию). Мораторий был материализован в закон и сыграл свою роль в подписании Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ).

Но с середины 90-х годов произошел ряд серьезных неудач на разных фронтах, включая ядерное оружие. Сенат США отказался от ратификации ДВЗЯИ. Американский истеблишмент по контролю над ядерным оружием разработал новую ядерную доктрину, в которой фактически названы государства-мишени, куда входит и Россия. Его цель - создание нового эффективного вида ядерного оружия под названием "точные ядерные средства, поражающие цели под землей", а также ядерного мини-оружия<sup>9</sup>. Деньги на разработку ядерного оружия и содержание огромного американского военного арсенала выделяются в больших объемах, намного превышая средние затраты в период "холодной войны".

Однако помимо этих устрашающих фактов есть и победы 80-х и 90-х годов, продолжающие приносить плоды. Скажем, американский ядерный истеблишмент теперь не имеет возможности для массового производства атомных бомб, поскольку "Роки Флэтс" был большим единственным заводом в США по производству плутониевых пил. Все его производственные здания снесены. Министерство энергетики предложило возвести новый объект аналогичного масштаба и назначения, но строительство займет лет десять, а может и больше. Поэтому у защитников мира и окружающей среды еще есть время на подготовку к борьбе за запрет этого строительства.

В отличие от времен "холодной войны" сейчас ядерному истеблишменту гораздо труднее

получить средства на возведение подобного объекта. Многие члены Конгресса признают это опасным прецедентом, который стимулирует распространение подобных настроений. Местные власти также из-за этого серьезно обеспокоены. Одни люди хотят получить деньги и работу, которые им обеспечит строительство завода, многие другие настроены решительно против этого, о чем в "холодную войну" можно было только мечтать, хотя нынешние времена во многом напоминают те годы. Но на сей раз правительство не сможет сделать вид, что подобный завод будет безопасен. Оценка риска такого объекта обнародуется в обязательном порядке. А она показывает, что за все время работы завода, который ежегодно будет выпускать 450 плутониевых пил, летальный исход могут получить девять рабочих<sup>10</sup>. Ядерный истеблишмент заявил, что волноваться не о чем, ведь это всего лишь статистика. Но общество настроено скептически. Мало кто верит в то, что немного плутония не повредит.

Скорее всего, выигрыш от ядерных испытаний будет по-прежнему аргументом в этом споре. Ядерный истеблишмент хочет возобновить испытания. Но это будет непросто. С конца 80-х по 90-е годы в США разразился громкий скандал о заражении большого количества молока йодом-131. В 80-х годах, произошли выбросы йода-131 на заводах по разделению плутония в Ханфорде. И случай с молоком имеет эти корни. В 1997 году Национальный институт раковых заболеваний опубликовал исследование, которое показало, что выбросы йода-131 после ядерных испытаний в атмосфере, проведенных в штате Невада, составили 130 миллионов кюри, что в 15 раз превышает выбросы после Чернобыльской аварии. Районы интенсивного выпадения радиоактивных осадков разбросаны по всей стране: от Айдахо и Монтаны до Канзаса и Айовы, Нью-Йорка и Вермонта. В ходе "холодной войны" была травлена большая часть американских запасов молока и не было сделано ничего для предотвращения этого заражения. В то же время, благодаря рассекреченным материалам стало ясно, что правительство предоставило компании "Кодак" и другим компаниям-производителям фотопленки секретную информацию о времени ядерных испытаний, чтобы они могли предпринять меры по защите фотопленки от "засвечивания".

Сегодня в связи с тем, что американский ядерный истеблишмент вновь готовится к проведению испытаний, Национальную академию наук интересует, выплатят ли людям компенсации в связи с заражением молока и в каких размерах. Сенатор-консерватор Боб Беннет, представитель республиканской партии от штата Юта, предпринимает активные действия, чтобы остудить пыл любителей ядерных испытаний. На его веб-сайте можно познакомиться с его законопроектом, который "поможет предотвратить возобновление ядерных испытаний без согласования с Конгрессом, проведения всестороннего анализа по экологии и безопасности, а также открытого участия общества в обсуждении"<sup>11</sup>. Если этот закон будет принят, Соединенным Штатам будет трудно или даже невозможно возобновить ядерные испытания, если даже другие страны это сделают первыми.

## **Борьба продолжается**

В октябре 1989 года Михаил Горбачев заявил всему миру: "У Советского Союза нет ни морального, ни политического права вмешиваться в дела своих восточно-европейских соседей. Они сами вправе решать свою судьбу". Это заявление подтолкнуло граждан

США принять участие в решении судьбы американских заводов по производству ядерного оружия. С решением Горбачева больше не прибегать к грубым насильственным мерам прошлых лет, в США возродилась традиция активной гражданской позиции. Все это привело к снижению ядерной угрозы. Победу никто не праздновал, но мы до сих пор пользуемся ее плодами.

Безусловно, сегодня мир переживает трудные времена. Война и насилие не сходят с наших экранов и хроник. Но те успехи, которых добились родители, обеспокоенные за судьбу своих детей, воду и молоко, и которые привели к закрытию большого числа ядерных заводов и мораторию на ядерные испытания, продолжают приносить плоды. Они открывают для нас второе дыхание, чтобы сбросить завоевания тех лет на общее благо и дальше бороться за ликвидацию всего ядерного оружия и всех ядерных заводов.

---

### Источники

1. Некоторые исследования для данной статьи были проведены в рамках гранта на написание книги, предоставленного Арджуну Макхиджани фондом "Джон Д. и Кэтрин Т. Макартур Фаундейшн" (John D. and Catherine T. MacArthur Foundation). Рабочее название книги - "*Science of Death, Science of Life: An Enquiry into the Contrasts between Weapons Science and Health and Environmental Science in the U.S. Nuclear Weapons Complex*".
2. См. работу авторов Уэс Маккинли (Wes McKinley) и Кэрон Бэлкэни (Caron Balkany) под названием: "*The Ambushed Grand Jury: How the Justice Department Covered Up Government Nuclear Crimes and How We Caught Them Red Handed*". Нью-Йорк, Апекс Пресс, 2004 год.
3. Лео Страус (Leo Strauss), как приведено в работе у Бартона С. Хакера (Barton C. Hacker) под названием "*Elements of Controversy: The Atomic Energy Commission and Radiation Safety in Nuclear Weapons Testing 1947-74*", г. Беркли, штат Калифорния, университетское издательство Калифорния Пресс, 1994 год, стр. 150-151.
4. Бартон С. Хакер - "*The Dragon's Tail: Radiation Safety in the Manhattan Project 1942-1946*", г. Беркли, штат Калифорния, университетское издательство Калифорния Пресс, 1987 год, стр. 85.
5. Совместный труд организации "Врачи мира за предотвращение ядерной войны" и Института исследований энергетики и окружающей среды (IEER) под названием: "*Radioactive Heaven and Earth: The health and environmental effects of nuclear weapons testing in, on, and above the earth*", Нью-Йорк, Апекс Пресс, 1991 г., глава 4.
6. Более подробную информацию о выбросах на заводе "Ферналд" можно найти в журнале [Science for Democratic Action, выпуск 5, номер 3](#) от октября 1996 года. Информация об ошибках в документах по радиоактивным дозам рабочих представлена в [ЭБ № 14](#) от 2000 года.
7. Публикация Арджуна Макхиджани: "*Science of Death, Science of Life*", интервью Лизы Кроуфорд.
8. Организация "Врачи мира за предотвращение ядерной войны" и Института исследований энергетики и окружающей среды (IEER): "*Plutonium: Deadly Gold of the Nuclear Age*", Кембридж, МА: IPPNW Press, 1992 г.
9. См. статью "[Использование "более пригодного" ядерного оружия становится реальностью?](#)", ЭБ № 26 от 2004 года.
10. См. статью "[Возвращение к бесславному прошлому](#)", журнал ЭБ № 26 от 2004 года.
11. Пресс-релиз сенатора США Боба Беннета: [Bennett Bill Halts Nuclear Testing Without Congressional Approval, Public Input](#), от 7 сентября 2004 года.

## Обогащение Урана в Мире

---

В приведенной ниже таблице кратко представлена имеющаяся на сегодняшний день информация о положении дел на урановых обогатительных производствах в различных странах мира. Указаны тип применяемого процесса, мощность обогащения, рабочее состояние на настоящий момент и прочие сведения. Таблица составлена по каждой стране отдельно и по группам стран. В группы включены: государства, заявившие о наличии ядерного оружия (Китай, Франция, Россия, Великобритания, США); обладающие ядерным потенциалом, но не подписавшие Договор о нераспространении ядерного оружия (Индия Израиль, Пакистан); вызывающие опасения у США в связи с возможным наличием ядерного оружия (Иран, Ирак, Северная Корея), а также страны, которые на данный момент не вызывают подозрений с точки зрения ядерных амбиций (Аргентина, Австралия, Бразилия, Германия, Япония, Нидерланды, Южная Африка, Южная Корея). Не исключена возможность того, что такие страны уже провели лабораторные эксперименты по обогащению урана.

При изучении таблицы следует обратить внимание на два обстоятельства. Во-первых, здесь представлены только те объекты, которые известны либо по международным соглашениям о гарантиях, либо по информации, опубликованной или распространенной самими странами, или каким-либо источником внутри страны. Об этом следует помнить с учетом потенциального существования нелегальных объектов (в особенности газогенераторных центрифужных установок). Последний случай с разоблачением компании "A.Q. Khan" - серьезный пример незаконного распространения технологии обогащения, осуществленного частными лицами по крайней мере частично.

Во-вторых, имеющаяся информация о текущем состоянии заводов и их мощностей зачастую противоречива даже в отношении известных объектов. По возможности, эти несоответствия оговорены, однако отмечать такие противоречия в производственных мощностях частных объектов не представилось возможным. Как правило, расхождения по производственным мощностям установок, о которых сообщают источники, не были серьезными. Таким образом, представленная информация репрезентативна с точки зрения проектных мощностей заводов, перечисленных в таблице.

Таблица основана на данных таблицы 2, опубликованной в октябре 2004 года в отчете IEEER: "Обогащение урана: простые факты к содержательной дискуссии о ядерном распространении и атомной энергии" (*Uranium Enrichment: Just Plain Facts to Fuel an Informed Debate on Nuclear Proliferation and Nuclear Power.*) Основными источниками информации для данной таблицы послужили Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), а также несколько неправительственных организаций, хорошо известных своей серьезной деятельностью в этой области. Ссылки представлены в [отчете](#).

Кол-во объектов	Процесс / Масштаб <sup>1</sup>	Текущее состояние / Номинальная мощность (в- метрических тоннах ЕРР в год)
-----------------	--------------------------------	--

**Государства, заявившие о наличии ядерного оружия:  
Китай, Франция, Россия, Великобритания, США**

**Китай<sup>2</sup>**

3	Газовая диффузия / Промышленный	Один завод выводится из эксплуатации. Возведение другого завода закончилось в 1970-х гг. / мощность >200 МТЕРР/г.
3	Центрифугирование/ Промышленный	Строительство одного завода / мощность 500 МТЕРР/г. На следующем этапе строительства будет построен еще один завод. Два завода, действующие с 1996 и 1998 гг., производят НОУ под гарантии МАГАТЭ / мощность 500 МТЕРР/г.
1	Газовая диффузия / Лабораторный	Данных нет.
1	CRISLA	Данных нет.
1	Предполагаемый обоганительный комбинат оружейного урана	Данных нет.

**Франция**

2	Газовая диффузия / Промышленный	Один завод, действующий с 1979 г. / мощность 10 800 МТЕРР/г. Другой завод выводится из эксплуатации / мощность 0 МТЕРР/г - по данным МАГАТЭ.
1	Центрифугирование / Промышленный	Завод запланирован / мощность 7 500 МТЕРР/г.
1	Химическое обогащение/ Опытная установка	Завод закрыта в 1988 г. / 0 МТЕРР/г. - по данным МАГАТЭ.

2	Лазерный (SILVA) / Лабораторный	Один завод закрыта в 2003 г. / 0 МТЕРР/г. - по данным МАГАТЭ. Другой завод возможно закрыт, возможно исследуется / 0 МТЕРР/г - по данным МАГАТЭ.
---	------------------------------------	---

**Россия<sup>3</sup>**

4	Центрифугирование / Промышленный <sup>4</sup>	Завод, действующий с 1949 г. / мощность 7 000 МТЕРР/г. Завод, действующий с 1950 г. / мощность 4 000 МТЕРР/г. Завод, действующий с 1954 г. / мощность 1 000 МТЕРР/г. Завод, действующий с 1964 г. / мощность 3 000 МТЕРР/г.
---	--	--

**Великобритания**

1	Центрифугирование / Промышленный	Действует с 1972 г. / 2,300 МТЕРР/г.
1	Газовая диффузия / Промышленный	Установка выведена из эксплуатации.

**США**

3	Газовая диффузия / Промышленный	Один завод действует с 1954 года, был модернизирован в 1970-х гг. / 11 300 МТЕРР/г. Другой завод действует с 1956 года, была модернизирована в 1970-х гг., закрыт в 2001г., сегодня находится в резерве / 7 400 МТЕРР/г. Третий завод действует с 1945 г., закрыт в 1985 г.
3	Центрифугирование / Промышленный	Планируется создание завода к 2010 г. / 3 500 МТЕРР/г. Другой завод планируется, завершение строительства намечено к 2010 или 2011 г. / 3 000 МТЕРР/г. Строительство третьего отсрочено (заявка на получение разрешения отозвана).

1	AVLIS / Лабораторный	Завод действовал с 1991г., закрыт в 1999 году.
1	Центрифугирование Опытный завод	Завод начнет действовать в 2005 г. / мощность 0 МТЕРР/г по данным МАГАТЭ.

**Ядерные державы, не подписавшие ДНЯО:  
Индия, Израиль, Пакистан**

**Индия**

2	Центрифугирование / Опытный завод	Один завод действует с 1990 г. / мощность <3 МТЕРР/г. Возведение другой установки завершено в 1985 г. / мощность не указана.
1	Лазерный/ Лабораторный	Действует с начала 1980-х гг. / мощность не указана.
1	Лазерный / Опытный завод	Действует с 1993 г. / мощность не указана.

**Израиль**

1	Лазер и газовое центрифугирование / Лабораторный и опытный завод	Данных нет.
---	---	-------------

**Пакистан**

1	Центрифугирование / Промышленный	Действует с 1984 г. / мощность 5 МТSEPP/г. (как сообщает МАГАТЭ, мощность будет увеличена примерно до 15 МТЕРР/г.).
2	Центрифугирование / Лабораторный	Данных нет. Один завод действующий. Рабочее состояние другого неизвестно.
1	Данных нет	Строится с конца 1990-х гг.?

**Государства, подозреваемые правительством США в наличии ядерного оружия:  
Иран, Ирак и Северная Корея**

**Иран**

1	Центрифугирование / Промышленный	Завод должен начать действовать с начала 2005 г. / мощность 250 МТЕРР/г.
1	Центрифугирование / Опытный завод	Действует с августа 2003 г. / мощность не указана, будет вмещать 1 000 центрифуг.
1	?	Данных нет. Предположительно обогатительный объект.
2	Центрифугирование?	Данных нет. Один - предположительно обогатительный объект. Другой объект предположительно выполняет программу исследований обогащения урана в центрифугах.
1	Лазер или центрифугирование?	Данных нет. Предположительно обогатительный объект.
		<b>Ирак<sup>5</sup></b>
1	EMIS / Опытный образец	"Действовал до 1991 года, разрушен войсками Коалиции в ходе воздушной атаки " / мощность 0 МТЕРР/г.
2	Центрифугирование / Опытный образец	Одна установка была перемещена в 1987 г.; работа другой была прекращена в начале войны в Персидском Заливе в 1991 году / мощность 0 МТЕРР/г.
1	Метод химического разделения изотопов/ Лабораторный	"Действовал до 1991 года, разрушен войсками Коалиции в ходе воздушной атаки " / мощность 0 МТЕРР/г.
2	EMIS / Промышленный	Один завод "частично действовал до 1991 года, затем был разрушен войсками Коалиции в ходе воздушной атаки; установки, работавшие по методу EMIS, а также оборудование позднее уничтожены МАГАТЭ". Другой завод "до 1991 года строился, затем была разрушен войсками Коалиции в ходе воздушной атаки; установки, работавшие по методу EMIS, а также оборудование позднее уничтожены МАГАТЭ". Мощность 0 МТЕРР/г.

## Северная Корея<sup>6</sup>

1	Урановый обогатительный завод и предполагаемый урановый обогатительный завод	Данных нет.
2	Предполагаемое подземное ядерное производство	Данных нет.
1	Лазерный научно-исследовательский институт	Данных нет.
1	Предполагаемый урановый обогатительный комбинат	Данных нет.

## Другие государства, осуществляющие промышленные или исследовательские программы: Аргентина, Австралия, Бразилия, Германия, Япония, Нидерланды, Южная Африка, Южная Корея

### Аргентина

1	Газовая диффузия / Опытный завод	Начала работать до 1983 года, находится в резерве с 1990 г. / мощность 20 МТЕРР/г.
1	Газовая диффузия / Промышленный	Строящийся завод (проектирование или возведение возможно началось в 1997 г.) / мощность 100 МТЕРР/г.

### Австралия

1	Лазерный (SILEX) / Лабораторный	Действует с 1992 г. (завершение 2 стадии намечено на конец 2004 - начало 2005 г.; стадия 3 включает строительство и функционирование опытного завода, возможно в США) / мощность 0 МТЕРР/г. по данным МАГАТЭ.
---	---------------------------------	---

### Бразилия

1	Центрифугирование / Лабораторный	Действует с 1992 г. / мощность 5 МТЕРР/г.
2	Центрифугирование / Опытная установка	Один завод действует с 1998 г./ 4 МТЕРР/г. Другой функционирует с 1982 г./ мощность не указана.
1	Центрифугирование / Промышленный	Строящаяся "ультрацентрифуга", запуск планировался в 2004 г./ мощность 120 МТЕРР/г. (в конечном счете, она составит 200 МТЕРР/г.).
1	Лазерный (AVLIS) / Лабораторный	Действует с 1981 г. / мощность 0 МТЕРР/г. по данным МАГАТЭ.
2	Форсунка / Опытный завод	Один завод введен в строй с 1979 г., закрыт в 1989 г., выводится из эксплуатации / мощность 0 МТЕРР/г. по данным МАГАТЭ. Другой закрыт.
1	Центрифугирование	Предполагается / мощность не указана.
<b>Германия</b>		
1	Центрифугирование / Промышленный	Действует с 1985 г./ мощность 1800 МТЕРР/г.
1	Центрифугирование / Лазерный	Действует с 1964 г. / мощность 0 МТЕРР/г.
1	Форсунка / Опытный завод	Выведен из эксплуатации.
<b>Япония</b>		
1	Центрифугирование / Промышленный	Действует с 1992 г./ мощность 1050 МТЕРР/г.
2	Центрифугирование / Опытный завод	Один завод открылся в 1989 г., другой - в 1979 г., оба закрыты в 2004 году и демонтируются.
1	Химическое обогащение / Опытный завод	Действовал с 1986 г., закрыт в 1991 г.

1	Лазерный (MLIS) / Лабораторный	Действовал с 1991, закрыт в 2003 г./ мощность 0 МТЕРР/г, по данным МАГАТЭ.
1	Лазерный (AVLIS) / Лабораторный	Действовал с 1987 г., закрытие запланировано на 2005 год, ожидает вывода из эксплуатации/ мощность 0 МТЕРР/г, по данным МАГАТЭ.
<b>Нидерланды</b>		
1	Центрифугирование / Промышленный	Действует с 1973 г./ мощность 2 200 МТЕРР/г.
<b>Южная Африка</b>		
1	Лазерный (MLIS) / Опытный завод	Действовал с 1995 г., закрыт в 1998 г.
1	Форсунка / Опытный завод	Действовал с 1978 г., закрыт в 1990 г., ожидает вывода из эксплуатации.
1	Спиральная волна / Промышленный	Действовал с 1986 г., закрыт в 1996 г., ожидает вывода из эксплуатации.
<b>Южная Корея</b>		
1	Лазерный (AVLIS) / Лабораторный	Эксперименты проводились в начале 2000 <sup>7</sup> г./ мощность не указана.

#### **Пояснения к таблице:**

1. Промышленный масштаб относится к размерам производства. Промышленное производство отличается от военного в основном только характером управления, а не методами строительства. Множество заводов, функционирующих на территориях ядерных держав и указанных в таблице в качестве промышленных объектов, в прошлом производили ВОУ для ядерного оружия.
2. Дополнительные источники, с помощью которых составлены данные по Китаю, имеют много противоречивой информации, которая не позволяет определить количество возведенных или планируемых заводов.
3. Центр изучения вопросов нераспространения ядерного оружия Монтерейского института (The Monterey Institute's Center for Nonproliferation Studies) сообщает, что: "В 1989 году Советский Союз прекратил производство высокообогащенного оружейного урана".
4. Все российские обогатительные заводы, сначала функционировавшие как

газодиффузионные, с 1960-х гг. были модернизированы газогенераторными центрифугами. Первые три завода, перечисленные в таблице, участвуют в переработке ВОУ в НОУ для реализации российско-американской сделки по ВОУ.

5. Ядерная программа Ирака была прекращена в 1991 году в связи с войной в Персидском Заливе и последующими проверками ООН. В апреле 2003 года, после военного вторжения США и Великобритании в Ирак и свержения правительства страны, все иракские обогатительные заводы были закрыты. Цитаты взяты из отчетов "Фонда Карнеги за международный мир".
6. Здесь перечислены предполагаемые объекты. Информация может быть недостоверна.
7. По сообщению информационного агентства "Рейтер" от 2 сентября 2004 года, правительство Южной Кореи заявило, что "все обогатительные заводы и весь уран были ликвидированы сразу после проведения экспериментов".

### **Сокращения:**

AVLIS - технология лазерного разделения изотопов в атомарной форме, известна как SILVA во Франции

CRISLA - химическая реакция через избирательную изотопную лазерную активацию

EMIS - электромагнитный метод разделения радиоактивных изотопов урана

HEU - высокообогащенный уран

IAEA - МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии)

LEU - низкообогащенный уран

MLIS - молекулярный метод лазерного разделения изотопов

MTSWU/a - метрическая тонна Единицы разделительной работы в год

SILEX - технология лазерного разделения изотопов

SILVA - французская аббревиатура, аналогичная AVLIS

## "Атомные" загадки

---

Ответы на вопросы читайте в основной статье ["Обогащение урана"](#), а также ниже.

1. а) Сколько электроэнергии потребляют газодиффузионные установки (в киловатт-часах за Единицу разделительной работы (кВ-ч/ЕРР)?  
  
б) Сколько электроэнергии потребляют современные газогенераторные центрифужные установки (кВ-ч/ЕРР)?
2. а) Какой объем услуг по обогащению урана, в Единицах разделительной работы в год, необходим, чтобы обеспечить типовой легководный ядерный реактор мощностью 1000 мегаватт электроэнергии, использующий обогащенный уран в качестве топлива?  
  
б) Если бы такое обогащение было обеспечено газодиффузионной установкой, то какой процент от объема электроэнергии, генерированного данным реактором в год, потребовался бы на процесс обогащения?  
  
в) Если бы обогащение было обеспечено газогенераторными центрифужными установками, то какой процент от объема электроэнергии, генерированного данным реактором в год, потребовался бы на процесс обогащения?
3. а) Сколько килограмм высокообогащенного урана (ВОУ) использовалось для атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму?  
  
б) Сколько ВОУ используется для создания более эффективной модели бомбы?  
  
в) Сколько метрических тонн природного урана и какой объем услуг по обогащению в Единицах раздельной работы потребовалось бы для создания эквивалента бомбы Хиросима?  
  
г) Сколько тонн низкообогащенного урана (НОУ) потребовалось бы для получения ВОУ, чтобы создать эквивалент бомбы, сброшенной на Хиросиму? Насколько это соответствует количеству НОУ, необходимого для ежегодного снабжения топливом одного ядерного реактора мощностью 1000 мВт?
4. а) Какая пропорция совокупных услуг по обогащению урана, необходимого для получения оружейного ВОУ, участвует в обогащении урана из природного урана (0,7% уран-235) в НОУ (3,6% уран-235)?  
  
б) Какая доля участвует в обогащении НОУ с окончательной переработкой его в ВОУ (90% У-235)?
5. Сколько урана-235 в процентном отношении обычно содержится:

- а) в низкообогащенном уране (НОУ)?
  - б) в высокообогащенном уране (ВОУ)?
  - в) в природном уране?
6. Является ли верным следующее утверждение: требуемое количество природного урана и необходимое количество ЕРР при обогащении урана прямо пропорциональны друг другу на установленной степени обогащения.
7. Является ли верным следующее утверждение: ЕРР и вес урана обычно измеряются в килограммах, хотя это меры разного характера.
- 

**Ответы:**

1. а) от 2400 до 2500 кВ-ч/ЕРР  
б) от 50 до 60 кВ-ч
2. а) приблизительно от 100 000 до 120 000 ЕРР в год  
б) примерно от 3 до 4 процентов  
в) менее 0,1%
3. а) приблизительно 60 кг  
б) 20-25 кг  
в) между 10,6 и 13,1 метрических тонн природного урана и между 11600 и 13700 услуг по обогащению урана в ЕРР  
г) 1,6 тонны; менее одной десятой от всего количества
4. а) две трети  
б) одна треть
5. а) от 3 до 5 % урана-235  
б) 90% урана-235  
в) 0,7% урана-235
6. Утверждение неверное, поскольку требуемое количество природного урана и ЕРР в процессе обогащения меняются в противоположных направлениях на установленной степени обогащения.
7. Утверждение верное.